



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY**

**A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY**

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

## STEJNOSMĚRNÉ MOTOR KY PRO OBECNOU POTŘEBU

DC MOTORS FOR GENERAL PURPOSES.

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Daniel Randa**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

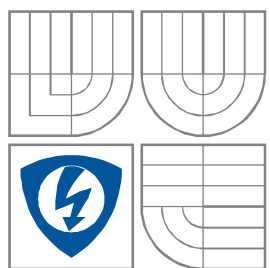
**prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.**

**BRNO 2016**



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A  
KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY  
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC  
ENGINEERING

## **Stejnoseměrné motorky pro obecnou potřebu**

**DC MOTORS FOR GENERAL PURPOSES**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Daniel Randa

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

BRNO, 2016

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

**Student:** Daniel Randa

**ID:** 161794

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2015/16

**NÁZEV TÉMATU:**

## Stejnoseměnné motorky pro obecnou potřebu

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Zhodnoťte výsledky semestrálního projektu, pokud jde o používané stejnosměnné motorky malého výkonu
2. Proveďte rozbor jednoho zvoleného typu vyráběných strojů
3. Navrhněte možnosti inovace a ověřte výpočtem případně, podle možností, měření na vzorku.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[1] Koziej E., Mazsiny elektryczne pojazdów samochodowych. WNT Warszawa, 1984, ISBN 83-204-0515-7

[2] Yeadon H., Handbook of Small Electric Motors, Mc Graw Hill Book Company, 2001, ISBN 0-07-072332-X

[3] T. Denton, Automobile Electrical and Electronics Systems Butterworth-Heinemann, Oxford 2001 ISBN 0-34-73195-8

**Termín zadání:** 21.9.2015

**Termín odevzdání:** 31.5.2016

**Vedoucí práce:** prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

**Konzultant bakalářské práce:**

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D., předseda oborové rady**

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá inovací stejnosměrného motorku s permanentními magnety malého výkonu. Práce je rozdělena do tří úkolů. Jako první částí je provést přehled sériově vyráběných stejnosměrných motorků. Druhou částí je vybrat jeden konkrétní stejnosměrný motorek z vypracovaného přehledu a provést jeho rozbor a podrobný popis. V poslední části práce je navržení inovací na vybraném stejnosměrném motorku.

## **Abstract**

This work deals with innovation DC permanent magnet motor for low power. The work is divided into three tasks. The first part is to survey serially produced DC motors. The second part is to choose one particular DC motor drawn from the survey and carry out its analysis and detailed description. The last part is to design innovations to selected DC motor.

**Klíčová slova**

Stejnoseměrný motor, permanentní magnety, kotva, stator, rotorové plechy, komutátor, kartáče.

**Keywords**

DC motor, permanent magnets, rotor, stator, rotor sheets, commutator, brushes.

## **Bibliografická citace**

RANDA, D. *Stejnoseměrné motorky pro obecnou potřebu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 46 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc..

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Stejnoseměrné motorky pro obecnou potřebu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....

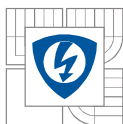
Podpis autora .....

## Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Vítězslavu Hájkovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne .....

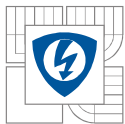
Podpis autora .....



## Obsah

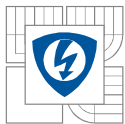
<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>12</b>
<b>2 VÝBĚR POUŽÍVANÝCH STEJNOSMĚRNÝCH MOTORKŮ .....</b>	<b>13</b>
2.1 STEJNOSMĚRNÝ MOTOREK P2TV, ATAS ELEKTROMOTORY NÁCHOD A. S. ČESKÁ REPUBLIKA .....	13
2.2 STEJNOSMĚRNÝ MOTOREK 1.13.044.236, BÜHLER MOTOR GMBH NĚMECKO .....	14
2.3 STEJNOSMĚRNÝ MOTOREK GNM 4175A, ENGEL ELEKTROMOTOREN GMBH NĚMECKO.....	15
2.4 STEJNOSMĚRNÝ MOTOREK GR 80x40, DUNKERMOTOREN GMBH NĚMECKO .....	17
2.5 STEJNOSMĚRNÝ MOTOREK CPB, BOSCH GMBH NĚMECKO .....	18
<b>3 ZHODNOCENÍ SEMESTRÁLNÍ PRÁCE .....</b>	<b>20</b>
3.1 POROVNÁNÍ VYBRANÝCH STEJNOSMĚRNÝCH MOTORKŮ MALÉHO VÝKONU .....	20
<b>4 ZÁKLADNÍ PROVOZY A TYPY KRYTÍ STEJNOSMĚRNÝCH MOTORKŮ .....</b>	<b>24</b>
4.1 KRYTÍ STEJNOSMĚRNÝCH MOTORKŮ .....	24
<b>5 ROZBOR STEJNOSMĚRNÉHO MOTORKU P2TV, ATAS ELEKTROMOTORY NÁCHOD A. S. ČESKÁ REPUBLIKA .....</b>	<b>25</b>
<b>6 MOŽNOSTI INOVACE STEJNOSMĚRNÉHO MOTORKU P2TV S PERMANENTNÍMI MAGNETY .....</b>	<b>31</b>
6.1 KOŠTRA MOTORKU .....	31
6.2 PERMANENTNÍ MAGNETY .....	32
6.3 ROTOROVÉ PLECHY .....	33
6.4 KOMUTÁTOR .....	33
<b>7 VÝPOČTY ZTRÁT PROVEDENÉ KE STEJNOSMĚRNÉMU MOTORKU P2TV .....</b>	<b>34</b>
7.1 ZTRÁTY VE VINUTÍ KOTVY .....	34
7.2 ZTRÁTY NA KARTÁČÍCH A KOMUTÁTORU .....	35
7.3 HYSTEREZNÍ ZTRÁTY .....	36
7.4 ZTRÁTY VÍŘIVÝMI PROUDY .....	36
7.5 ZTRÁTY TŘENÍM KARTÁČŮ O KOMUTÁTOR .....	38
<b>8 KONKRÉTNÍ NÁVRHY INOVACÍ NA MOTORKU P2TV .....</b>	<b>39</b>
8.1 VÝMĚNA PM FERITOVÝCH ZA PM ZE VZÁCNÝCH ZEMIN NdFeB .....	39
8.2 PLECHY KOTVY Z OCELI M270 – 35A.....	40
<b>9 ZÁVĚR.....</b>	<b>42</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>44</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>46</b>





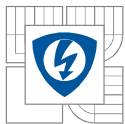
## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1 Stejnoseměrný motorek typ P2TV.....</i>	<i>13</i>
<i>Obrázek 2 Stejnoseměrný motorek typ 1.13.044.236.....</i>	<i>14</i>
<i>Obrázek 3 Charakteristika stejnosměrného motorku 1.13.044.236.....</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 4 Stejnoseměrný motorek GNM 4175A .....</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 5 Charakteristika stejnosměrného motorku GNM4175A.....</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 6 Stejnoseměrný motorek GR 80x40.....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 7 Charakteristika stejnosměrného motorku GR 80x40.....</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 8 Stejnoseměrný motorek CPB .....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 9 Charakteristika motoru CPB .....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 10 Graf proudového porovnání stejnosměrných motorků malého výkonu .....</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 11 Graf výkonového porovnání stejnosměrných motorků malého výkonu .....</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 12 Graf jmenovitých momentů stejnosměrných motorků malého výkonu.....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 13 Graf jmenovitých otáček stejnosměrných motorků malého výkonu.....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 14 Graf hmotnostního porovnání stejnosměrných motorků malého výkonu .....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 15 Stejnoseměrný motorek typ P2TV.....</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 16 Náčrtek motorku P2TV z dokumentace výrobce .....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 17 Detail rotorového plechu .....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 18 Náčrtek celého rotoru i s hřídelí a výřez rotorové drážky.....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 19 Zatěžovací charakteristika stejnosměrného motorku P2TV z dokumentace výrobce ..</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 20 Průběh indukovaného napětí ve stejnosměrném motorku P2TV .....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 21 Průběh magnetické indukce ve vzduchové mezeře stejnosměrného motorku P2TV... </i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 22 Průběh zvlnění momentu stejnosměrného motorku P2TV .....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 23 Přesné bezešvé trubky.....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 24 Permanentní magnety z materiálu NdFeB.....</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 25 Permanentní magnety z materiálu SmCo.....</i>	<i>32</i>



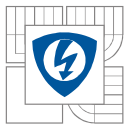
## SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 Parametry stejnosměrného motorku P2TV z dokumentace výrobce.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabulka 2 Parametry stejnosměrného motorku 1.13.044.236 z dokumentace výrobce .....</i>	<i>14</i>
<i>Tabulka 3 Parametry stejnosměrného motorku GNM 4175A z dokumentace výrobce.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabulka 4 Parametry stejnosměrného motorku GR 80x40 z dokumentace výrobce.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabulka 5 Parametry stejnosměrného motorku CPB z dokumentace výrobce .....</i>	<i>18</i>
<i>Tabulka 6 Porovnávací tabulka parametrů vybraných stejnosměrných motorků.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabulka 7 Typy provozů stejnosměrných motorků .....</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 8 Parametry stejnosměrného motorku P2TV z dokumentace výrobce .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabulka 9 Původní parametry ke srovnání .....</i>	<i>39</i>
<i>Tabulka 10 Parametry po výměně za PM NdFeB35 .....</i>	<i>40</i>
<i>Tabulka 11 parametry motorku při záměně za plechy z M270-35A.....</i>	<i>41</i>



## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

$U$	Napětí	[V]
$I$	Proud	[A]
$M_N$	Jmenovitý moment motoru	[Nm]
$n_N$	Jmenovité otáčky motoru	[min <sup>-1</sup> ]
$m$	Hmotnost	[kg]
$P_2$	Výkon motoru	[W]
$\eta$	Účinnost motoru	[-]
DC	Stejnoseměrný motor	
$\vartheta$	Provozní teplota motoru	[°C, K]
NdFeB	Neodym – Železo – Bor	
SmCo	Samarium – Kobalt	
$U_N$	Jmenovité napětí	[V]
$I_N$	Jmenovitý proud	[A]
$U_i$	Indukované napětí	[V]
$R$	Odpor	[Ω]
$B$	Magnetická indukce	[T]
$\varnothing$	Průměr	[mm]
$r$	Poloměr	[mm]
$l$	Délka	[mm]
$\Delta P_e$	Ztráty ve vinutí	[W]
$R_a$	Celkový odpor kotvy	[Ω]
$l_{va}$	Střední délka vodiče	[m]
$l_\delta$	Délka čela	[m]
$\tau_p$	Pólová rozteč	[m]
$N_s$	Počet vodičů v sérii	
$S_{va}$	Průřez vodiče	[mm <sup>2</sup> ]
$\Delta P_k$	Ztráty na kartáčích a komutátoru	[W]
$P_h$	Hysterezní ztráty	[W/kg]
$f$	Frekvence	[Hz]
$P_v$	Ztráty vířivými proudy	[W/kg]



$P_{Fe}$	Celkové ztráty v železe	[W]
$\rho$	Měrná hmotnost (hustota)	[kg/m <sup>3</sup> ]
$V_{celk}$	Výsledný objem	[m <sup>3</sup> ]
$V_{dr}$	Objem drážky	[m <sup>3</sup> ]
$V$	Objem kotvy	[m <sup>3</sup> ]
$\Delta P_t$	Ztráty třením kartáčů o komutátor	
$v_k$	Obvodová rychlost	[m/s]
$S_k$	Plocha kartáče	[mm <sup>2</sup> ]



# 1 ÚVOD

Stejnosemřné stroje jsou nejstarší točivé elektrické stroje vůbec. Jejich principy známe již řadu let a od té doby prošly značným vývojem, aby se zlepšily jejich elektrické a mechanické vlastnosti. V dnešní době už spíše využíváme pouze stejnosměrné motory, tedy přeměnu elektrické energie na mechanickou, protože dynama by pro výrobu elektrické energie nevyhovovala.

Určitou výhodou je, že jsou oproti střídavým strojům stejných výkonů menších rozměrů, a proto mají i menší hmotnost. Další výhodou u stejnosměrných motorů je jejich velký záběrný moment a malá časová konstanta. Stejnosemřné stroje také mají lineární mechanické charakteristiky a regulační charakteristiky.

Cílem této bakalářské práce bylo vytvoření přehledu sériově vyráběných stejnosměrných motorků s permanentními magnety malého výkonu a vyhodnocení výsledků vypracovaného přehledu. Dalším úkolem bylo z vytvořeného přehledu stejnosměrných motorků vybrat jeden k podrobnému rozboru a analýze a následné provedení výpočtů, navrzení případných možností inovací a případné provedení měření na vybraném stejnosměrném motoru malého výkonu. Navržené inovace byly testovány pomocí programu Ansoft Maxwell v němž byl vytvořen projekt v RMxpert.

## 2 VÝBĚR POUŽÍVANÝCH STEJNOSMĚRNÝCH MOTORKŮ

### 2.1 Stejnsměrný motorek P2TV, ATAS elektromotory Náchod a. s. Česká Republika

Jde o stejnosměrný motorek Českého výrobce ATAS Náchod. Stejnsměrný motorek má vnější průměr 81 mm, typ provozu je S1. Stejnsměrný motorek tedy pracuje v nepřetržitém provozu, není tedy třeba dělat přestávky mezi provozy. Dále má motorek krytí IP42. Stejnsměrný motorek je uzavřený.

[1]

Typ DC motorku	Napětí [V]	Proud [A]	Výkon [W]	Jmenovitý moment [Nm]	Otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Hmotnost [kg]
P2TV369	24	5	80	0,382	2000	3,3

Tabulka 1 Parametry stejnosměrného motorku P2TV z dokumentace výrobce [1]



Obrázek 1 Stejnsměrný motorek typ P2TV [1]

## 2.2 Stejnosměrný motorek 1.13.044.236, Bühler motor GmbH Německo

Stejnosměrný motorek je vyrobený německou firmou Bühler. Má vnější průměr 51,6 mm a celkovou délku 88,6 mm. Stejnosměrný motorek je proveden v uzavřeném krytí IP 40 a pracuje při teplotách okolního prostředí od  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ~  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

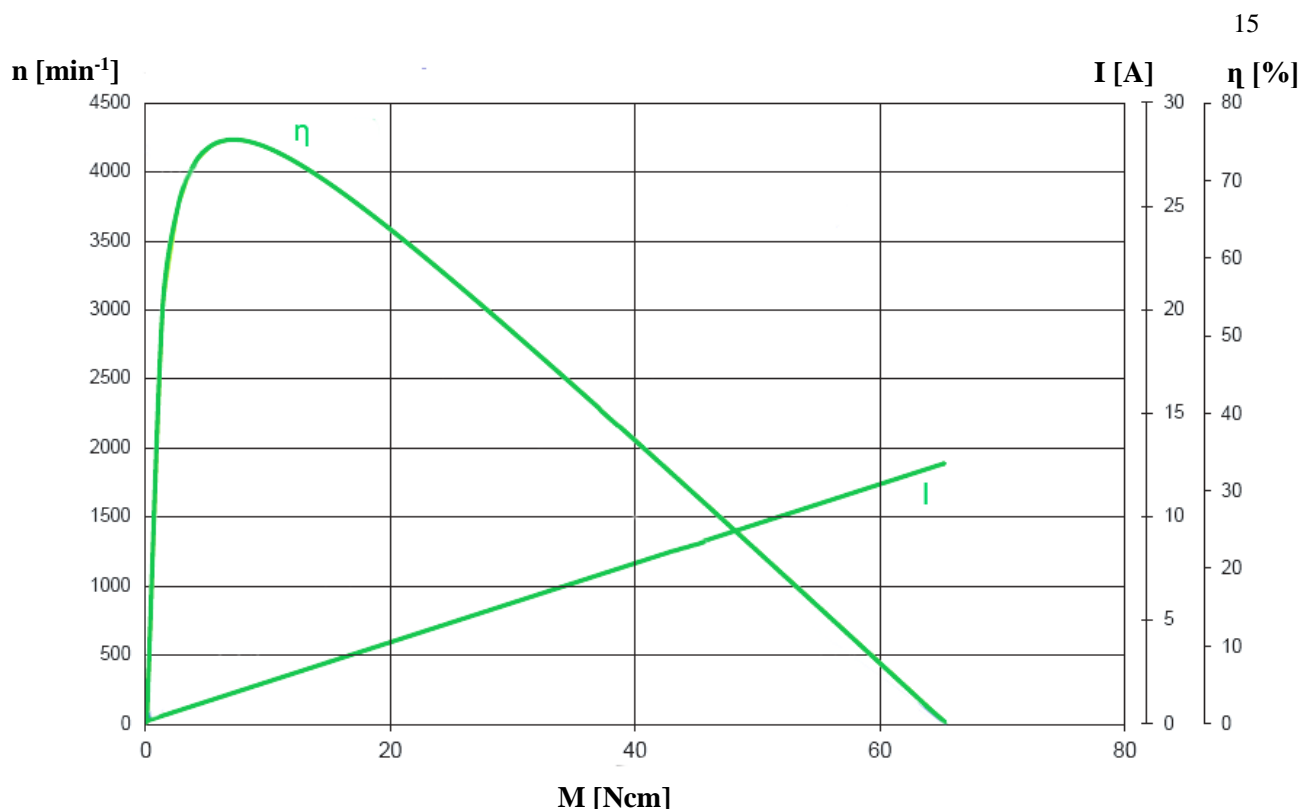
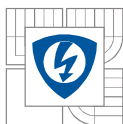
[2]

Typ DC motorku	Napětí [V]	Proud [A]	Výkon [W]	Jmenovitý moment [Nm]	Otáčky $[\text{min}^{-1}]$	Hmotnost [kg]
1.13.044.236	24	3,1	50	0,15	3200	0,765

Tabulka 2 Parametry stejnosměrného motorku 1.13.044.236 z dokumentace výrobce [2]



Obrázek 2 Stejnosměrný motorek typ 1.13.044.236 [2]



Obrázek 3 Charakteristika stejnosměrného motorku 1.13.044.236 [2]

### 2.3 Stejnosměrný motorek GNM 4175A, Engel elektromotoren GmbH Německo

Tento stejnosměrný motorek je vyrobený německou firmou Engel elektromotoren má vnější průměr 70 mm a celkovou délku 198 mm bez brzdy, kterou výrobce na objednání přidělá a pak má motorek o dalších 46 mm navíc. Pracuje v pohonném provozu S1, v nepřetržitém provozu. Stejnosměrný motorek je proveden jako uzavřený, krytí IP54.

[3]

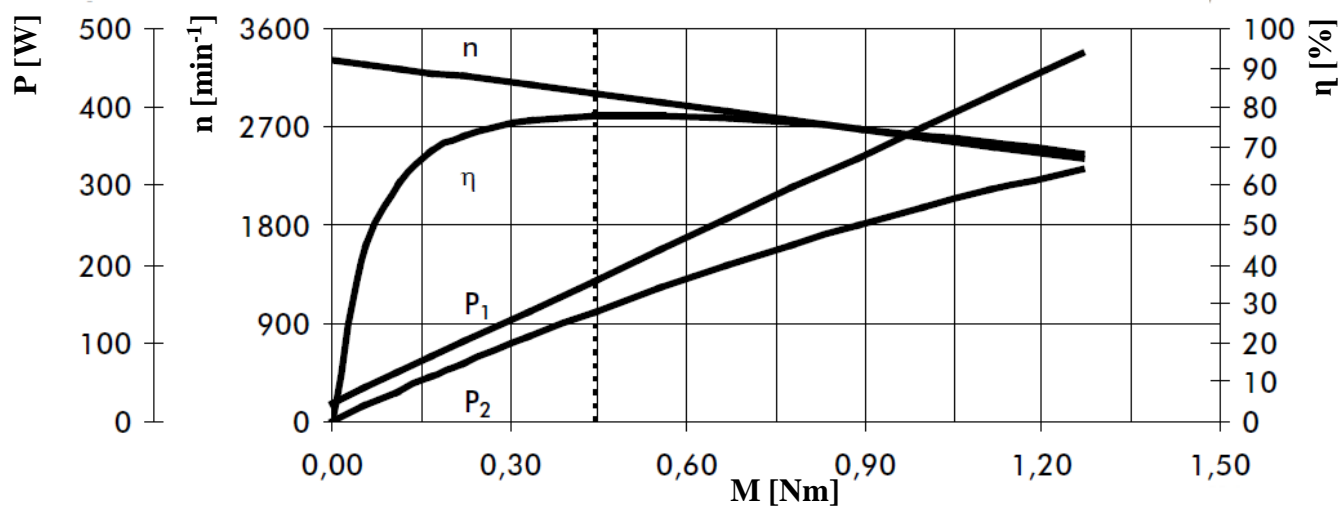
Typ DC motorku	Napětí [V]	Proud [A]	Výkon [W]	Jmenovitý moment [Nm]	Otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Hmotnost [kg]
GNM 4175A	24	7,5	140	0,446	3000	2,65

Tabulka 3 Parametry stejnosměrného motorku GNM 4175A z dokumentace výrobce [3]





Obrázek 4 Stejnoseměrný motorek GNM 4175A [3]



Obrázek 5 Charakteristika stejnosměrného motorku GNM4175A

[3]

## 2.4 Stejnosměrný motorek GR 80x40, dunkermotoren GmbH Německo

Stejnosměrný motorek vyrobený německou firmou dunkermotoren. Motorek má vnější průměr 80 mm a krytí IP50 motorek je proveden jako uzavřený. Tento stejnosměrný motorek výrobce upravuje dle požadavků zákazníka jako např. jiné krytí nebo úpravu hřídele na delší případně větší průměr a také provedení hřídele na obě strany.

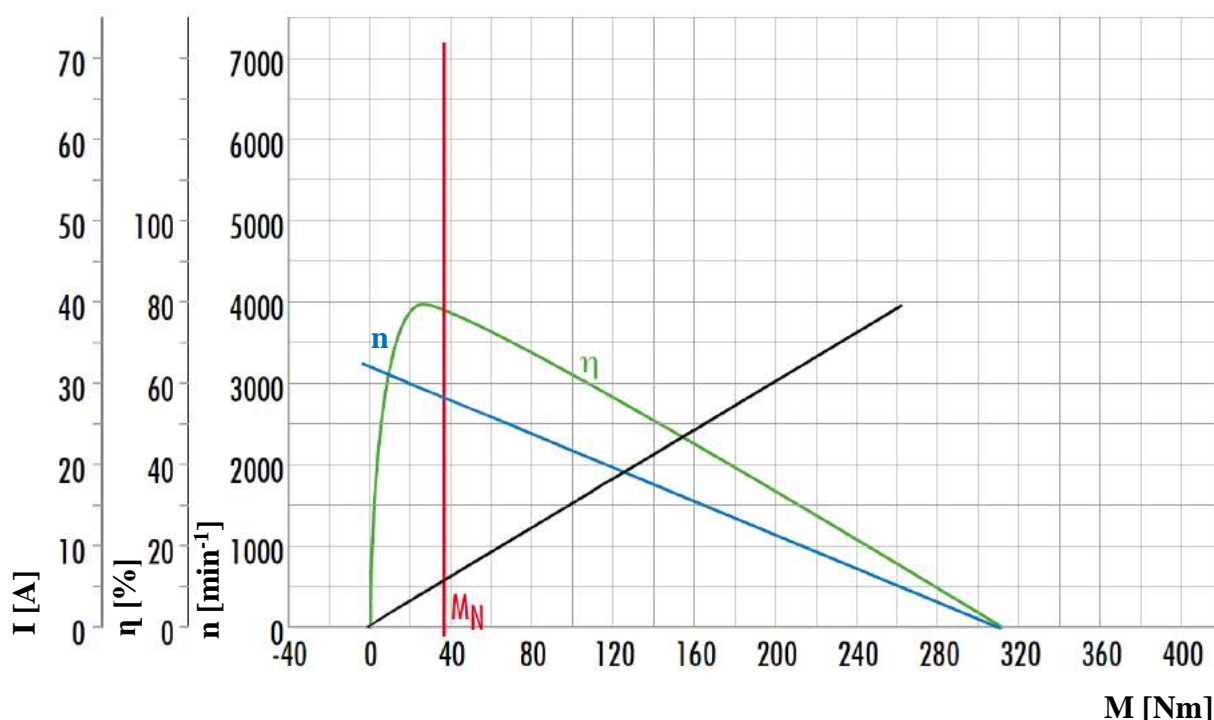
[4]

Typ DC motorku	Napětí [V]	Proud [A]	Výkon [W]	Jmenovitý moment [Nm]	Otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Hmotnost [kg]
GR 80x40	24	5,8	120	0,35	2900	2,8

Tabulka 4 Parametry stejnosměrného motorku GR 80x40 z dokumentace výrobce [4]



Obrázek 6 Stejnosměrný motorek GR 80x40 [4]



Obrázek 7 Charakteristika stejnosměrného motorku GR 80x40

[4]

## 2.5 Stejnosměrný motorek CPB, BOSCH GmbH Německo

Německý výrobce BOSCH je jedním z největších výrobců stejnosměrných motorků v celosvětovém měřítku a dalších komponentů k nim. Produkty od výrobce BOSCH jsou známé svou spolehlivostí, kvalitou a také stálý inovující vývoj.

Stejnosměrný motorek CPB má vnější průměr 59 mm a celkovou délku 142 mm. Má obousměrný smysl otáčení, pravý i levý. Je konstruován na provoz S1 a krytí IP44.

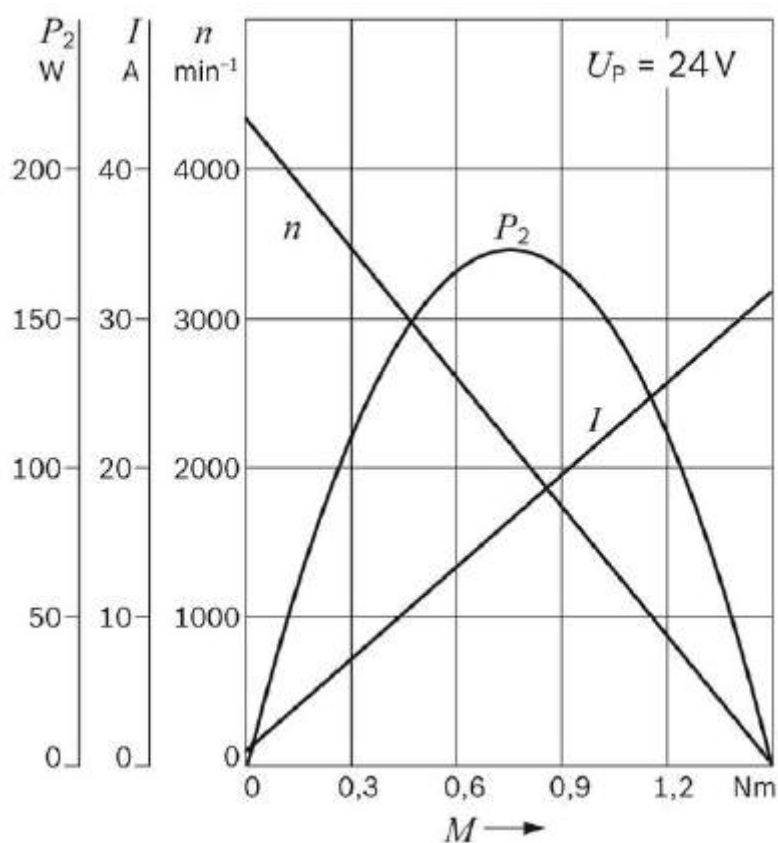
[5]

Typ DC motorku	Napětí [V]	Proud [A]	Výkon [W]	Jmenovitý moment [Nm]	Otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Hmotnost [kg]
CPB	24	5	87,2	0,225	3700	0,8

Tabulka 5 Parametry stejnosměrného motorku CPB z dokumentace výrobce [5]



Obrázek 8 Stejnosměrný motorek CPB [5]



Obrázek 9 Charakteristika motoru CPB [5]



### 3 ZHODNOCENÍ SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

V semestrální práci byl zpracován přehled stejnosměrných motorků malého výkonu. Vybrané stejnosměrné motorky byly doplněny informacemi o jejich rozměrech a jmenovitých parametrech. Jmenovité parametry jsou u každého stejnosměrného motoru vloženy do tabulky, která je u všech těchto motorků shodná. Také byly všechny motorky doplněny ilustračními obrázky, a v případě dostupnosti od výrobce přidána i charakteristika motoru. Tyto motorky pak byly vzájemně porovnány v rámci sloupcových grafů, které vycházely z vyplněné tabulky jmenovitých hodnot u každého motoru.

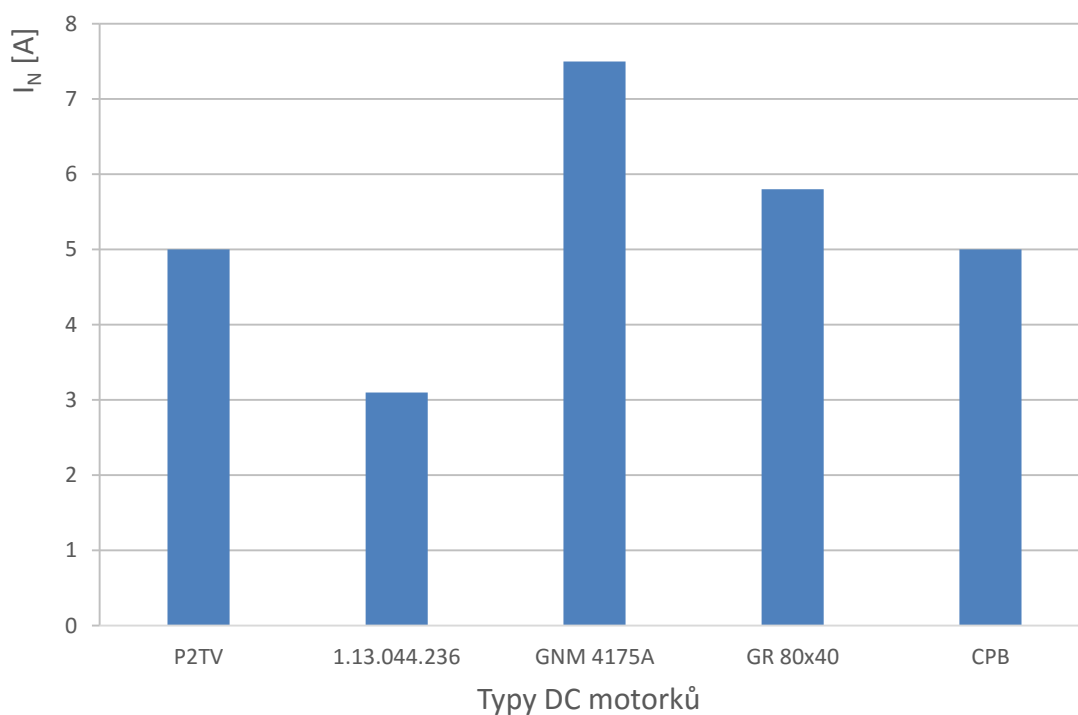
Semestrální práce byla rozdělena na tři části zadání. V první části byl zpracován přehled sériově vyráběných stejnosměrných motorků s permanentními magnety. Stejnosměrné motorky byly vybírány jak z českého trhu, tak ze zahraničních trhů podle několika kritérií na porovnání. Tato kritéria byla napájecí napětí, výkon do 200 W, typ provozu a ochrany, a jmenovitá otáčky. Při porovnávání byly vzaty v úvahu všechny základní údaje o vybraných stejnosměrných motorech z dokumentací od výrobců. Dalšími údaji byly jmenovitý moment, napájecí proud a hmotnost. Porovnání bylo provedeno graficky. V druhé části byl vybrán jeden z uvedených stejnosměrných motorků a popsán podrobněji, než v první části. Pro tento popis byl vybrán stejnosměrný motorek s permanentními magnety od výrobce ATAS Náchod s typovým označením P2TV. Ve třetí, poslední části byly bez jakýchkoliv výpočtů nebo ověřování navrženy teoretické inovace na vybraném stejnosměrném motoru.

#### 3.1 Porovnání vybraných stejnosměrných motorků malého výkonu

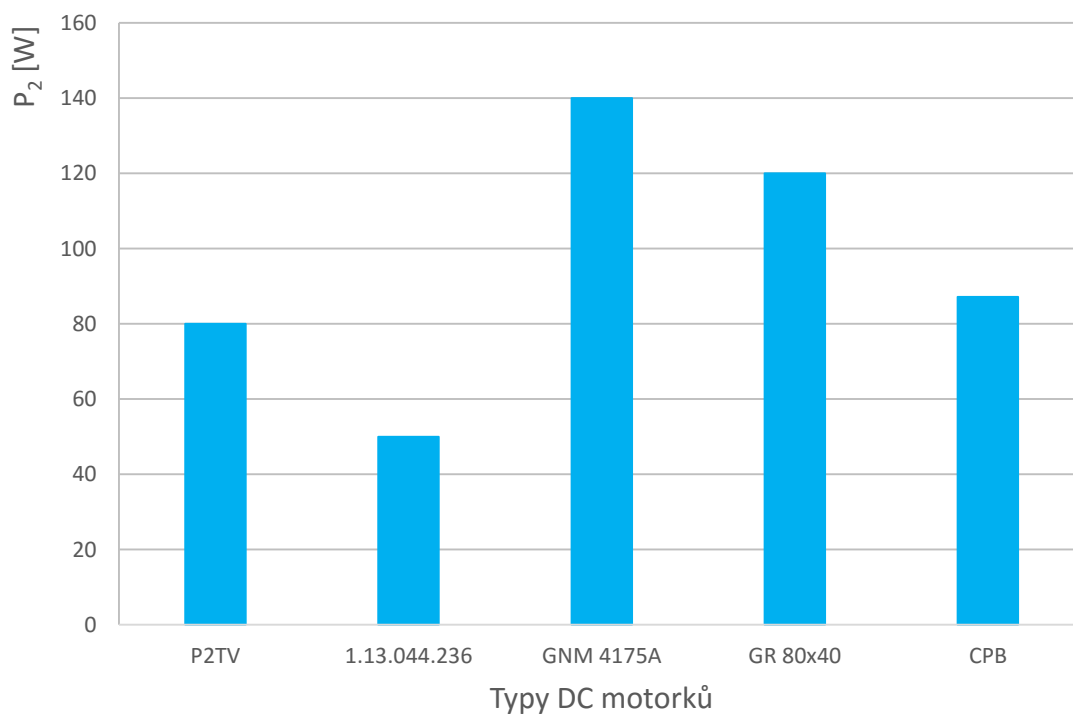
V této kapitole byla zpracována data o stejnosměrných motorech malého výkonu pomocí tabulkového programu Excel a vynesena jsem je do níže uvedených grafů.

Typ DC motoru	$U_N$ [V]	$I_N$ [A]	$P_2$ [W]	$M_N$ [Nm]	$n_N$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	$m$ [kg]
<b>P2TV</b>	24	5	80	0,382	2000	3,3
<b>1.13.044.236</b>	24	3,1	50	0,15	3200	0,765
<b>GNM 4175A</b>	24	7,5	140	0,446	3000	2,65
<b>GR 80x40</b>	24	5,8	120	0,35	2900	2,8
<b>CPB</b>	24	5	87,2	0,225	3700	0,8

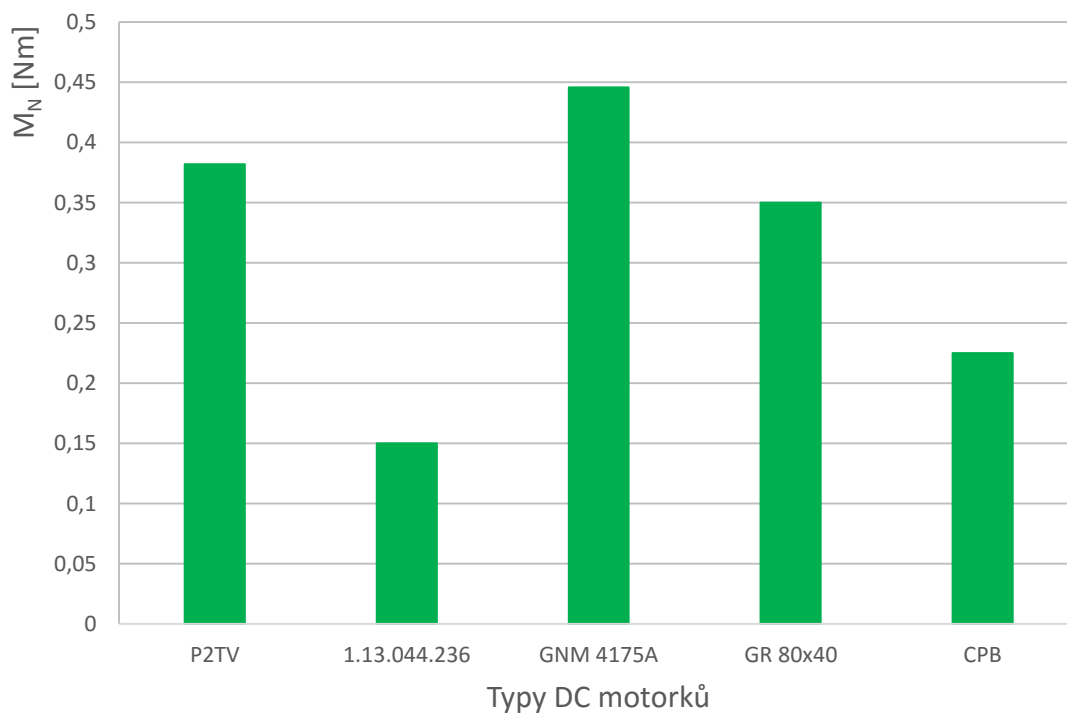
Tabulka 6 Porovnávací tabulka parametrů vybraných stejnosměrných motorků



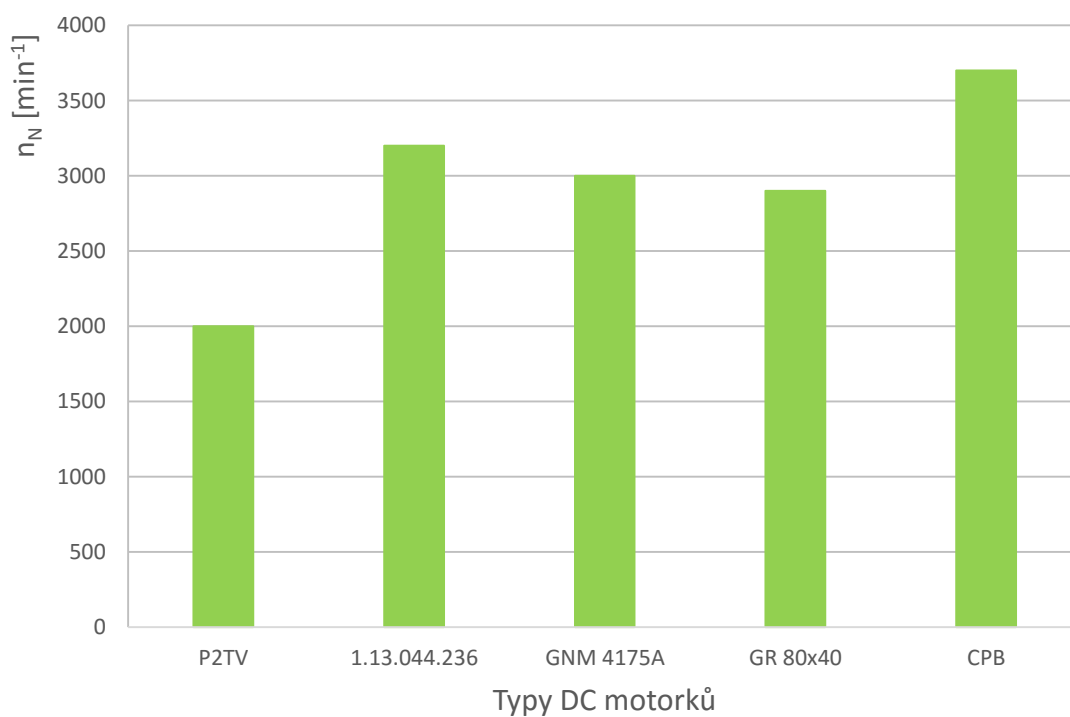
Obrázek 10 Graf proudového porovnání stejnosměrných motorků malého výkonu



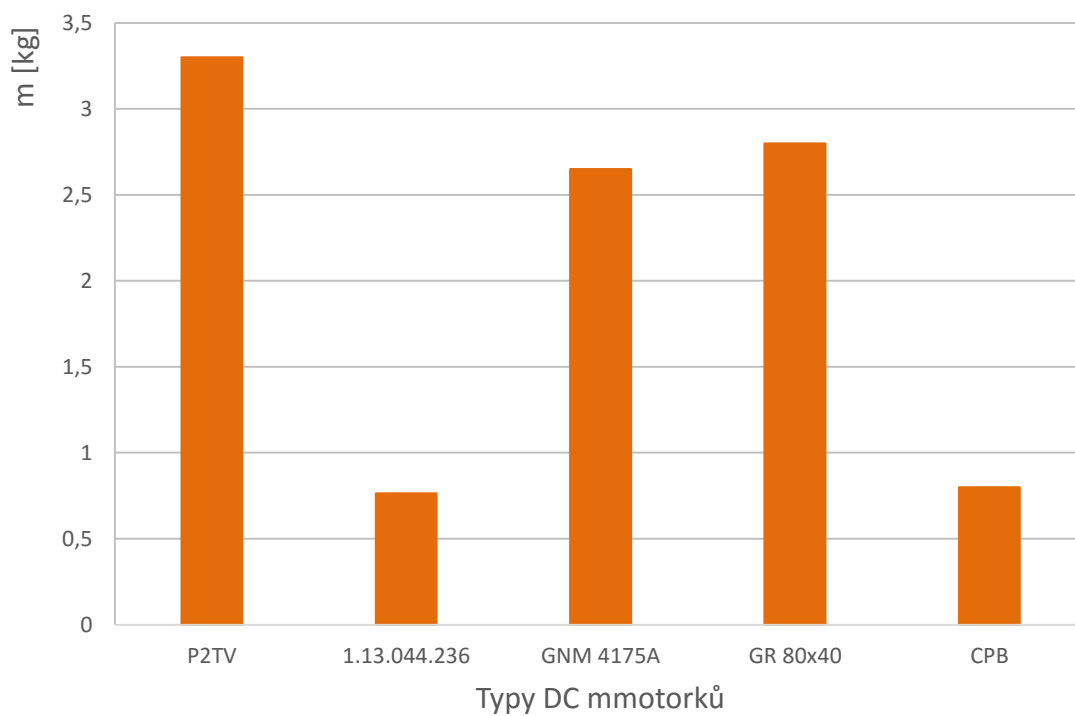
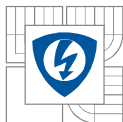
Obrázek 11 Graf výkonového porovnání stejnosměrných motorků malého výkonu



Obrázek 12 Graf jmenovitých momentů stejnosměrných motorků malého výkonu

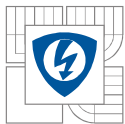


Obrázek 13 Graf jmenovitých otáček stejnosměrných motorků malého výkonu



*Obrázek 14 Graf hmotnostního porovnání stejnosměrných motorků malého výkonu*





## 4 ZÁKLADNÍ PROVOZY A TYPY KRYTÍ STEJNOSMĚRNÝCH MOTORKŮ

<b>S1</b>	Kontinuální provoz
<b>S2</b>	Krátkodobý provoz, kdy motor během dané doby dosáhne povolené tepelné hranice. Následující přestávka provozu musí být tak dlouhá, aby motor znovu nabyl okolní teplotu.
<b>S3</b>	Provoz s přestávkami, sekvence stejných pracovních period, kde každá perioda se skládá z dílu s konstantním výkonem a dílu s přestávkou.
<b>S4</b>	Provoz s rovnoměrně rozloženými starty, zátěžemi a přestávkami.
<b>S5</b>	Provoz s rovnoměrně rozloženými starty, zátěžemi, brzděním nebo reverzním chodem a přestávkami.
<b>S6</b>	Kontinuální pohon s periodickým zatěžováním a chodem naprázdno.
<b>S7</b>	Provoz s rovnoměrně rozloženými starty, zátěžemi, brzděním nebo reverzním chodem bez přestávek.
<b>S8</b>	Kontinuální pohon s občasným zatěžováním změnou otáček.
<b>S9</b>	Kontinuální pohon s neperiodickým zatěžováním a změnami otáček. (typický provoz s frekvenčním měničem.

*Tabulka 7 Typy provozů stejnosměrných motorků* [11]

### 4.1 Krytí Stejnosměrných motorků

Označení IP kódem (International Protection) podle norem ČSN EN 60034-5, 35 0001 IEC 34-5 (ČSN EN 60529).

Tento kód definuje opatření, které určuje stupeň ochrany:

- osob před nebezpečným úrazem osob
- ES před vniknutím cizích předmětů
- ES před vniknutím vody

Nejčastěji používané druhy krytí u elektrických strojů dle IP kódu:

- otevřené provedení - IP 12, IP 21, IP 22, IP 23
- uzavřené provedení - IP 44, IP 54, IP 55, IP 56
- nevýbušné provedení
- speciální provedení (např. ponorná)

## 5 ROZBOR STEJNOSMĚRNÉHO MOTORKU P2TV, ATAS ELEKTROMOTORY NÁCHOD A. S. ČESKÁ REPUBLIKA

Druhým úkolem ze zadání práce bylo zvolení jednoho typu motorku z výše uvedených vyráběných strojů. Mnou vybraný stroj byl stejnosměrný motorek s permanentními magnety od výrobce ATAS elektromotory Náchod a. s. s označením řady P2TV.

Tento stejnosměrný motorek je určen k používání pro pohon spotřebičů, přístrojů a běžných regulačních, mechanizačních a automatizačních zařízení. Pracuje v provozu S1 tedy v kontinuálním (nepřetržitém) provozu a má krytí IP 42. Motorek také pracuje ve všech možných polohách provozu v obou směrech otáčení.



Obrázek 15 Stejnosměrný motorek typ P2TV

[1]

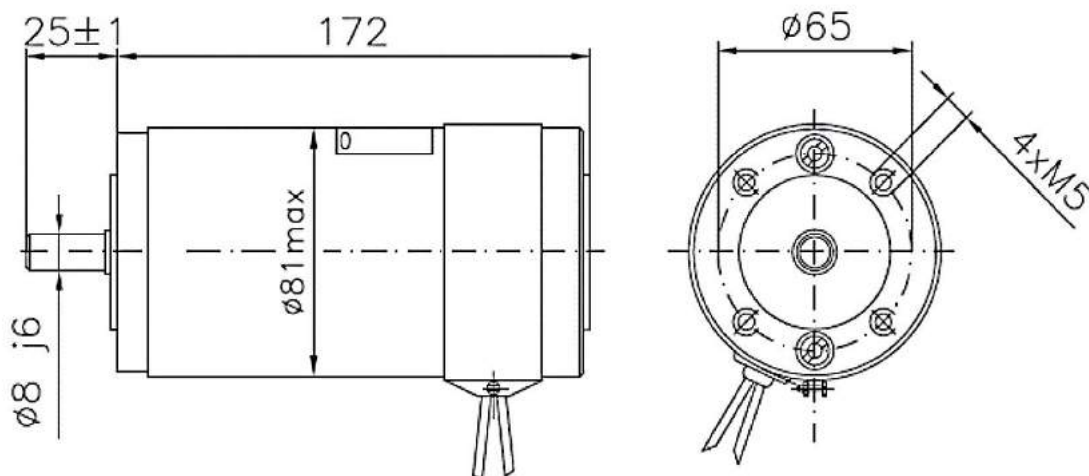
Prvním krokem byly zjištěny z dokumentace výrobce, které poskytuje zákazníkům na svých stránkách, základní parametry motorku. Stejnosměrný motorek P2TV je vyráběn v několika napětových hladinách pro mou práci byl vybrán motorek s napětovou hladinou 24 V.

[1, 8]

Typ DC motorku	Napětí [V]	Proud [A]	Výkon [W]	Jmenovitý moment [Nm]	Otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Hmotnost [kg]
P2TV369	24	5	80	0,382	2000	3,3

Tabulka 8 Parametry stejnosměrného motorku P2TV z dokumentace výrobce

[1]



Obrázek 16 Náčrtek motorku P2TV z dokumentace výrobce [1]

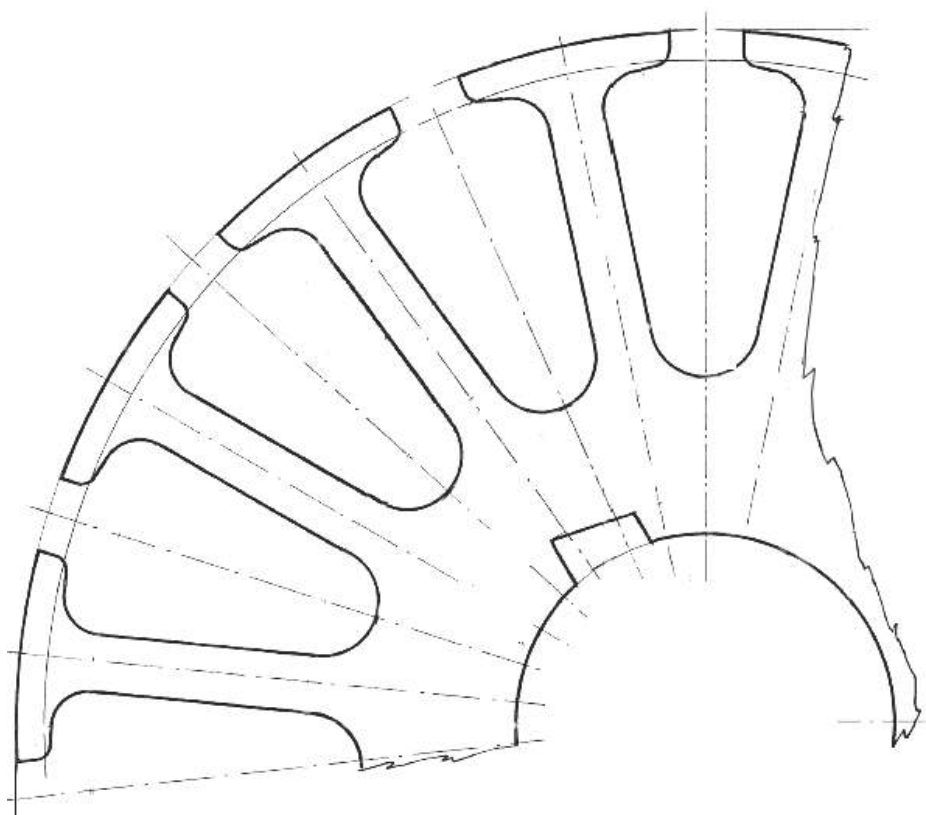
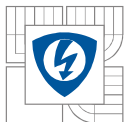
Další potřebné materiály jako výkresy a podrobné zprávy z protokolů byly řešeny přímo s výrobcem, který poskytl podrobnější dokumentaci. K dispozici byla kompletní sestava, výkres rotorového plechu a celého rotoru, dále také podrobné popisy jmenovitých hodnot a charakteristiky motorku, popis materiálů a použití stejnosměrného motorku s permanentními magnety.

Stejnoseměrný motorek P2TV má ložiskové štíty z hliníku, příruba je podle normy DIN 42 016 a ČSN 35 0040, kostra motorku je ocelová, ložiska jsou použita kuličková a kartáče jsou z materiálu elektrokarbon s rozměry 8x10x16 mm.

Rotor se skládá z plechů o tloušťce 0,5 mm a má 15 drážek vnější průměr 55 mm a průměr na hřídel 15 mm. Počet rotorových plechů je 240. Rotor je s natočenými drážkami.

Stejnoseměrný motorek má permanentní magnety z feritových materiálů. Vnější průměr statoru je 81 mm. Tloušťka magnetů je 7 mm.

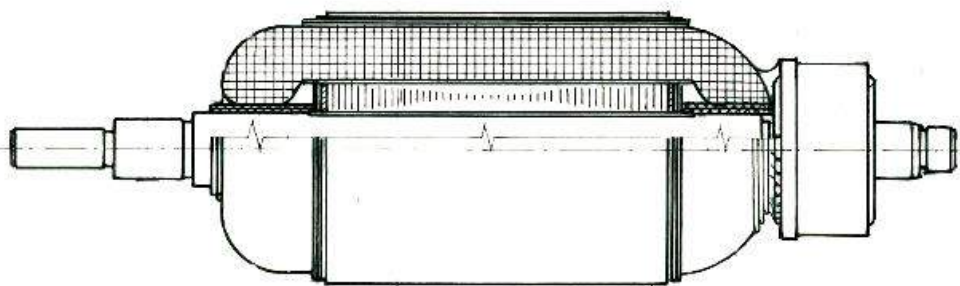
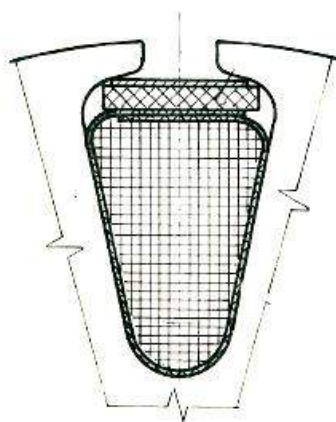
[8]



Obrázek 17 Detail rotorového plechu

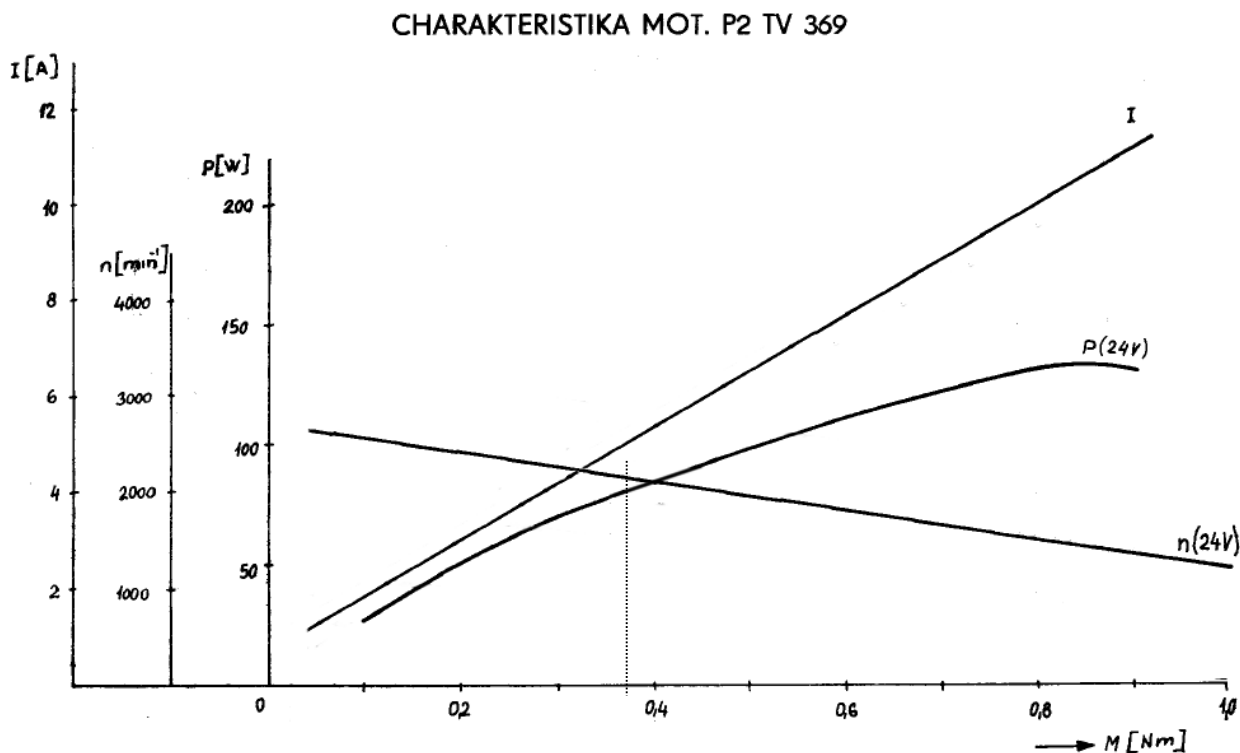
[8]

ŘEZ DRÁŽKOU



Obrázek 18 Náčrtek celého rotoru i s hřídelí a výřez rotorové drážky

[8]



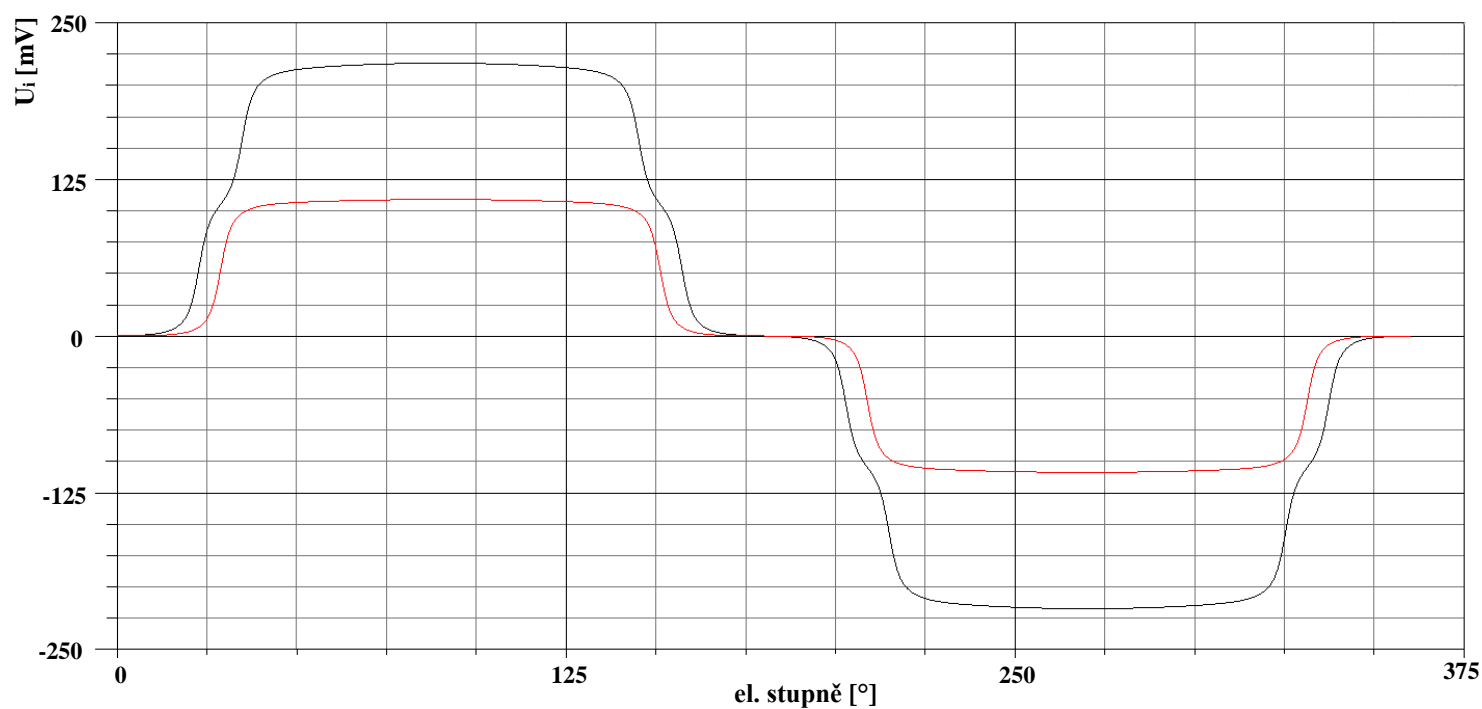
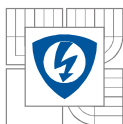
Obrázek 19 Zatěžovací charakteristika stejnosměrného motorku P2TV z dokumentace výrobce

[8]

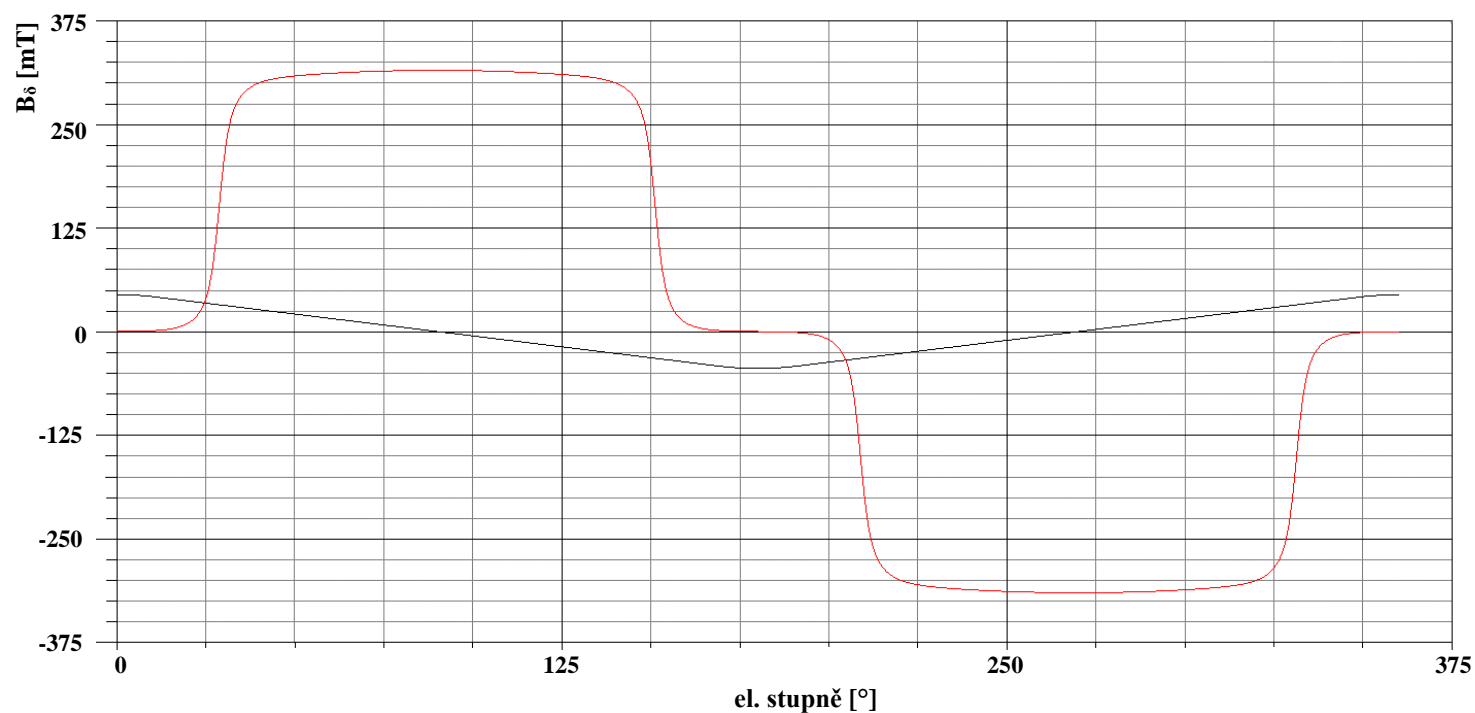
K příslušnému stejnosměrnému motorku P2TV byl z poskytnutých materiálů udělán model pro výpočty a doplňující charakteristiky v programu Ansoft Maxwell.

V programu Ansoft Maxwell byla vybrána položka Permanent magnet DC motor a postupně doplňovány všechny potřebné údaje ke statoru, permanentním magnetům, kotvě, komutátoru a kartáčům.

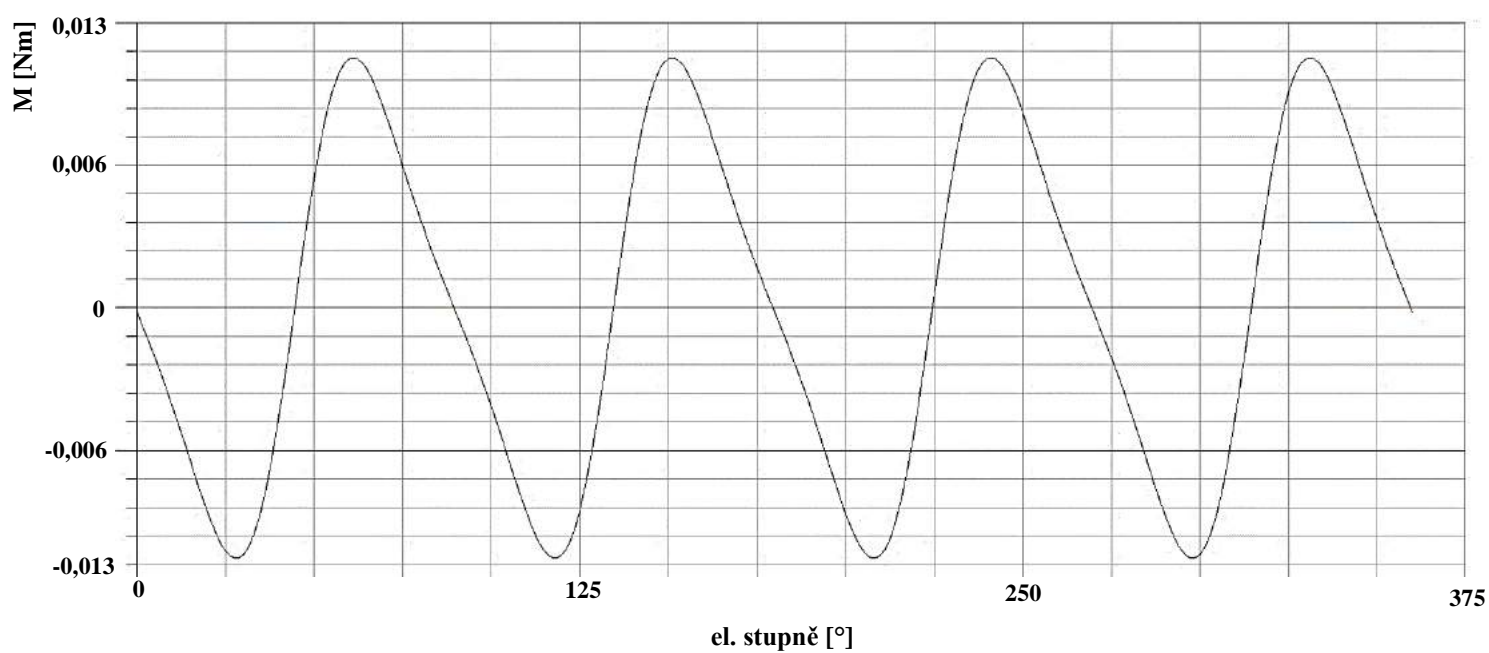
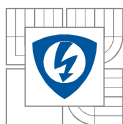
Kromě zatěžovacích charakteristik, které byly získány přímo od výrobce, jak je na obr. 19, byly v programu Ansoft Maxwell získány průběhy indukovaného napětí, momentového zvlnění a hustota toku.



Obrázek 20 Průběh indukovaného napětí ve stejnosměrném motorku P2TV



Obrázek 21 Průběh magnetické indukce ve vzduchové mezeře stejnosměrného motorku P2TV



Obrázek 22 Průběh zvlnění momentu stejnosměrného motorku P2TV

## 6 MOŽNOSTI INOVACE STEJNOSMĚRNÉHO MOTORKU P2TV S PERMANENTNÍMI MAGNETY

V dnešní době je ve většině odvětví hodně uplatňována inovace, která spočívá ve zmenšení nákladů na výrobu a její ztrátovosti i k vylepšování vlastností vyráběných věcí.

Tato práce byla věnována inovacím na vylepšení vlastností sériově vyráběného stejnosměrného motorku. Tento typ inovací se snaží využít modernějších materiálů a metod. Ovšem tento typ inovací často však naráží na ekonomický problém, kdy tyto inovace mohou pak ve výsledku zdražit vyráběný produkt, takže se použijí například pro laboratorní účely.

U stejnosměrného motorku s permanentními magnety máme několik hlavních možností úprav a těmi jsou změna materiálů permanentních magnetů, kostra motorku, rotorové plechy a komutátor.

### 6.1 Kostra motorku

Kostry stejnosměrných motorků bývají často nepřesné, a proto na nich vznikají větší ztráty. To je způsobeno tím, že většina výrobců kostry motorků pouze stáčí, přidělají mechanický zámek a svaří je, proto vznikají nepřesné spoje a také nedokonalý kulatý tvar. Vznikají tedy ztráty ve vzduchových mezerách a to jak ve spojích tak parazitní ztráty mezi kóstrou stejnosměrného motorku a permanentními magnety.

V dnešní době by bylo lepší, kdyby se kostra u menších stejnosměrných motorků malého výkonu vyráběla z přesných bezešvých trubek (tvářené na přesné rozměry).

Výrobci tyto trubky vyrábí dle daných norem jak podnikových tak státních a mezinárodních. Přesné bezešvé trubky tažené za studena někteří výrobci vyrábí dle svých katalogových rozměrů, případně na zakázku.

[6]



Obrázek 23 Přesné bezešvé trubky

[6]



## 6.2 Permanentní magnety

U permanentních magnetů se nabízí hned několik možností inovací. Jako první je změna materiálu permanentních magnetů. Dalšími možnostmi jsou tvar permanentních magnetů, jejich poloha na statoru tím pádem i jejich počet a velikost mezer mezi jednotlivými permanentními magnety.

U stejnosměrných motorků potřebujeme velmi dobré magnetické vlastnosti, používají se tedy magneticky tvrdé materiály, které splňují tuto podmínku, ovšem jsou velmi křehké a je obtížné je opracovat což, vyplývá z jejich tvrdosti. Pracovní teploty těchto magnetů se pohybují od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

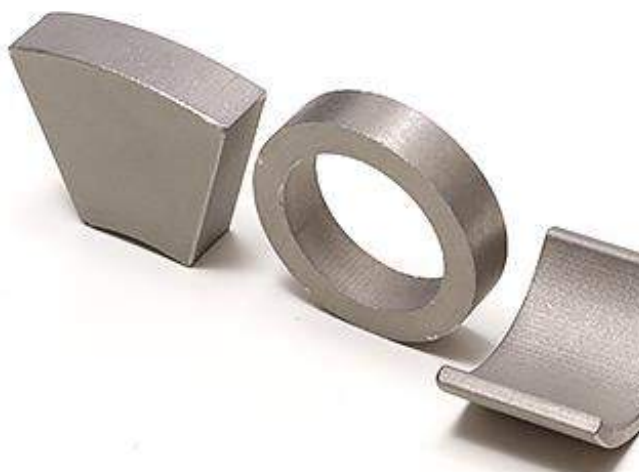
Pro inovaci, aby bylo dosaženo co nejlepších výsledků, by bylo nejlepší použití permanentních magnetů ze vzácných zemin jako jsou NdFeB a SmCo. Permanentní magnety ze vzácných zemin mají však svá úskalí. Týkají se především rozměrů stroje a způsobu výroby. Permanentní magnety typu NdFeB jsou náchylné ke korozi, a je třeba provést povrchovou úpravu. Tyto materiály mají pracovní teploty až do  $+350\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Jejich patrnou nevýhodou je velmi vysoká cena.

[7, 9]



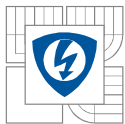
Obrázek 24 Permanentní magnety z materiálu NdFeB

[7]



Obrázek 25 Permanentní magnety z materiálu SmCo

[9]



### 6.3 Rotorové plechy

Rotorové plechy jsou v rotoru seskládány na sebe spolu s izolací mezi, která se nachází mezi jednotlivými plechy. V této části stejnosměrného motorku není moc možností pro inovace, pouze druh materiálu, který zvolíme. Ve stejnoměrném motorku P2TV se na výrobu rotorových plechů použila ocel s označením M700 – 50 A. Jedná se o měkkou ocel, která se používá z důvodu, aby se tak výrazně neopotřebovávaly razicí nástroje. Tato ocel je však dostatečně pevná a levná.

K lepším vlastnostem by nám dopomohly transformátorové plechy. Bohužel tyto plechy nesplňují dostatečnou pevnost pro rotující části. Z toho poznatku se dá ovšem říci, že by nám vyhovovala ocel s větším obsahem křemíku, ale také aby splňovala dostatečnou pevnost a měla i lepší magnetické vlastnosti než normální používaná ocel.

[8, 10]

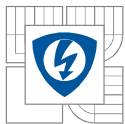
### 6.4 Komutátor

Tvoří jednu z nejzásadnější části stejnosměrného stroje. Komutátorů máme různé varianty například radiální, válcové (hřebenové, čelní). Komutátory se vyrábí z mědi. Jako izolační materiál se používá lepená slída, přesněji mikanit.

Ke komutátoru je zapotřebí ještě kartáčů. Kartáče se vyrábí z grafitu s příměsí mědi (50 %). Měď se používá ke snížení odporu kartáčů a přechodového odporu. Jako další materiál se používá bronz s malou vrstvou stříbra v místě dotyku s komutátorem. Tato varianta má nižší odpor a delší životnost než grafitové.

U komutátoru je také velmi důležitý přítlak kartáčů ke komutátoru, který pak ovlivňuje ztráty na komutátoru a to velikostí napětového úbytku. Konstrukčním cílem je mít na kartáčích co největší přítlak, aby nedocházelo k jejich odskakování. Ovšem s větším přítlakem, máme větší i ztráty na komutátoru. Dále v případě grafitových kartáčů zanášením lamel komutátoru vedoucí opět ke zhoršení ztrát na komutátoru.

[13]



## 7 VÝPOČTY ZTRÁT PROVEDENÉ KE STEJNOSMĚRNÉMU MOTORKU P2TV

Kapitola zabývající se provedenými výpočty ztrát na zvoleném stejnosměrném motorku. Tyto výpočty ztrát vychází z údajů poskytnutých od výrobce a k nim případné dopočtené veličiny. Jedná se pouze o teoretický přehled výpočtů jednotlivých ztrát a dalších mezivýpočtů. Výpočty ztrát se vztahují k ustálenému stavu stejnosměrného motorku P2TV.

Ztráty na elektrickém stroji lze rozdělit na dvě základní. Obecně je nazýváme ztráty mechanické a ztráty elektromagnetické.

### 7.1 Ztráty ve vinutí kotvy

Tyto ztráty patří do elektrických ztrát. Ztráty ve vinutí kotvy určuje proud odebíraný kotvou  $I_a$  a velikost odporu. Velikost odporu je proměnlivá, protože se vzrůstem teploty roste i velikost odporu.

$$\Delta P_e = I_a^2 \cdot R_a = 5^2 \cdot 0,9557 = \underline{23,893 \text{ W}}$$

[14]

Odpor  $R_a$ , který v daném vztahu představuje celkový odpor kotvy, byl dopočítán z následujícího vztahu

$$R_a = \rho \cdot \frac{2 \cdot l_{va} \cdot N_s}{2a \cdot S_{va}} = 1,73 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{2 \cdot 0,201375 \cdot 120}{2 \cdot 0,4418 \cdot 10^{-6}} = \underline{0,9557 \Omega}$$

[16]

Měrný odpor vodiče  $\rho = 1,75 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$  byl použit z fyzikálních tabulek. Délku  $l_{va}$ , konkrétně tedy střední délka jednoho vodiče, byla dopočítána pomocí vztahu

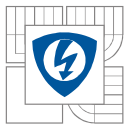
$$l_{va} = l + l_{\zeta} = 0,060 + 0,141375 = \underline{0,201375 \text{ m}}$$

[16]

kde  $l$  je délka kotvy a  $l_{\zeta}$  je dopočítaná hodnota a jedná se o délku čela. Délka čela byla spočítána pomocí vztahu, kde byla dopočítána ještě pólová rozteč  $\tau_p$

$$l_{\zeta} = 1,5 \cdot \tau_p = 1,5 \cdot 0,09425 = \underline{0,141375 \text{ m}}$$

[16]



Pólová rozteč byla získána dle vztahu

$$\tau_p = \frac{\pi \cdot D_R}{2p} = \frac{\pi \cdot 0,060}{2} = \underline{0,09425 \text{ m}}$$

[16]

Jako další údaj použitý ve výpočtu odporu kotvy byl použit počet závitů v sérii označený  $N_s$  dypočtený dle vztahu

$$N_s = \frac{Q \cdot N_d}{2 \cdot 2a} = \frac{15 \cdot 32}{2 \cdot 2} = \underline{120}$$

[16]

Počet vodičů jedné drážky kotvy  $N_d$  nebyla dypočítávána, tento údaj byl dodán výrobcem, stejně tak  $Q$  počet drážek. Počet paralelních  $2a$  je roven 2.

Údaj pro průřez vodiče  $S_{va}$  byl dypočítán z průměru vodiče kotvy  $d$ , který byl opět dodán výrobcem. Výpočet byl provedený dle vztahu

$$S_{va} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \cdot \left(\frac{0,75}{2}\right)^2 = \underline{0,4418 \text{ mm}^2}$$

## 7.2 Ztráty na kartáčích a komutátoru

Jedná se opět o ztráty elektrické. Tyto ztráty se většinou určují z úbytku napětí na kartáčích a komutátoru označené jako  $\Delta U_k$ . Pro jejich výpočet byl použit vztah

$$\Delta P_k = \Delta U_k \cdot I_a = 1 \cdot 5 = \underline{5 \text{ W}}$$

[14]



### 7.3 Hysterezní ztráty

Ztráty hysterezní patří do magnetických ztrát nebo také nazývaných ztráty v železe. Pro jejich výpočet byl použit upravený vzorec pro praktické použití

$$p_h = K_h \cdot \frac{f}{50} \cdot B^2 = 4,4 \cdot \frac{33,3333}{50} \cdot 1,51936^2 = \underline{6,7715 \text{ W/kg}}$$

[14]

kde  $K_h$  je koeficient pro hysterezní ztráty. Byl zvolen koeficient 4,4, který odpovídá obyčejné oceli tř. 11. Amplituda magnetické indukce je označena  $B$ . Frekvence  $f$  byla dopočítána pomocí následujícího vztahu

$$f = \frac{p \cdot n}{60} = \frac{1 \cdot 2000}{60} = \underline{33,3333 \text{ Hz}}$$

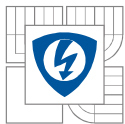
Výpočet je provedený pro  $n$  jmenovité tedy  $2000 \text{ min}^{-1}$  a  $p$  je počet pólových dvojic  $2p = 2$ .

### 7.4 Ztráty vířivými proudy

Vztah pro jejich výpočet je podobný jako v předchozím případě. Ztráty vířivými proudy patří také do ztrát magnetických. Závisí opět na druhé mocnině amplitudy magnetické indukce, ale také druhé mocnině frekvence. Pro jejich výpočet je uvažován koeficient  $K_v$ , který pro obyčejnou ocel tř. 11 odpovídá hodnotě 1,4. Vzorec na výpočet ztrát vířivými proudy tedy je

$$p_v = K_v \cdot \left(\frac{f}{50}\right)^2 \cdot B^2 = 1,4 \cdot \left(\frac{33,3333}{50}\right)^2 \cdot 1,51936^2 = \underline{1,4364 \text{ W/kg}}$$

[14]



Jako další výpočet byl proveden výpočet celkových ztrát v železe. Tento výpočet se dá vyjádřit jako součet vypočtených ztrát hysterezních a vířivými proudy a tento součet vynásobit hmotností příslušné části a koeficientem  $K_d$ , činitel vyjadřující zhoršení vlastností opracováním a nesinusové průběhy magnetické indukce. Hodnota tohoto koeficientu se pohybuje v rozmezí od 1 do 2.

Vzorec pro výpočet celkových ztrát v železe je následující

$$\begin{aligned} P_{Fe} &= 2 \cdot G \cdot \left[ K_h \cdot \frac{f}{50} + K_v \cdot \left( \frac{f}{50} \right)^2 \right] \cdot B^2 = \\ &= 2 \cdot 0,62181 \cdot \left[ 4,4 \cdot \frac{33,3333}{50} + 1,4 \cdot \left( \frac{33,3333}{50} \right)^2 \right] \cdot 1,51936^2 = \underline{10,2074 \text{ W}} \end{aligned}$$

[14]

kde  $G$  je hmotnost doložená z měrné hmotnosti a objemu, který připadá na danou část. Měrná hmotnost  $\rho$  pro ocel je daná tabulkově v rozmezí  $7400 - 8000 \text{ kg/m}^3$ . Objem  $V$  je doložený. Výpočet pro hmotnost  $G$  je tedy

$$m = G = \rho \cdot V_{celk} = 7870 \cdot 7,901 \cdot 10^{-5} = \underline{0,62181 \text{ kg}}$$

Výpočet objemu je dle rotačního válce a to z poloměru kotvy  $r$  a délky kotvy  $l$

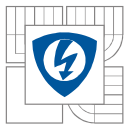
$$V = \pi \cdot r^2 \cdot l = \pi \cdot \left( \frac{0,055}{2} \right)^2 \cdot 0,060 = \underline{1,4255 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3}$$

Výpočet objemu všech drážek potřebný k získání samotného objemu plechů kotvy a to z plochy jedné drážky vynásobené délkou kotvy tvořící výšku rotačního válce a počtem všech drážek kotvy

$$V_{dr} = A \cdot Q \cdot l = 70,6 \cdot 10^{-6} \cdot 15 \cdot 0,060 = \underline{6,354 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3}$$

Výsledný vypočtený objem použitý k výpočtu hmotnosti je pak následující

$$V_{celk} = V - V_{dr} = 1,4255 \cdot 10^{-4} - 6,354 \cdot 10^{-5} = \underline{7,901 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3}$$



## 7.5 Ztráty třením kartáčů o komutátor

Jedná se už o ztráty mechanické. Tyto ztráty se dají zjistit poměrně snadným vzorcem v následujícím tvaru

$$\Delta P_t = \mu_t \cdot p_k \cdot v_k \cdot \sum S_k = 0,28 \cdot 0,3 \cdot 10^4 \cdot 1,833 \cdot 160 \cdot 10^{-6} = \underline{0,2464}$$

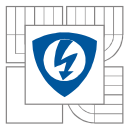
[14]

kde  $\mu_t$  je koeficient tření kartáčů o komutátor a pohybuje se v rozmezí 0,2 – 0,3,  $p_k$  je tlak působící na kartáče, který bývá v rozsahu 0,15 – 0,40 kg/cm<sup>2</sup>,  $\sum S_k$  vyjadřuje plochu všech kartáčů a  $v_k$  je obvodová rychlost komutátoru kterou jsem dopočítal pomocí vztahu

$$v_k = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot \frac{0,035}{2} \cdot 2000}{60} = \underline{1,833 \text{ m/s}}$$

$$\sum S_k = 2 \cdot (a \cdot b) = 2 \cdot (8 \cdot 10) = \underline{160 \text{ mm}^2}$$

Plocha všech kartáčů byla určena z výkresové dokumentace výrobce, ve které byly rozměry kartáčů následující 8x10x16.



## 8 KONKRÉTNÍ NÁVRHY INOVACÍ NA MOTORKU P2TV

Návrhy na inovace byly zmíněny o kapitoly výše, ale byly myšlené spíše obecně ohledně stejnosměrných motorků. V této kapitole se přímo zaměříme na stejnosměrný motorek P2TV s permanentními magnety, který má již v původním provedení mnou zmiňovaný předchozí návrh na vylepšení. Jedná se o provedení kostry stejnosměrného motorku s permanentními magnety, která zde tvoří i součást statoru z bezešvé trubky. Tato inovace byla uvedena v předchozím výčtu inovací obecně u stejnosměrných motorků. Proto není třeba tuto možnost inovace zde více rozvádět.

Pro zkoumání, vyhodnocování, odečty daných veličin a vykreslování charakteristik byl použit program Ansoft Maxwell. V programu Ansoft Maxwell byla zvolena možnost RMXprt Design (Permanent - magnet DC motor). V programu byly použity údaje o stejnosměrném motorku P2TV přímo od výrobce Atas elektromotory, Náchod.

Po vytvoření projektu v programu Ansoft Maxwell a vyplnění údajů bylo nejprve ověřeno, zda jsou u motorku na jmenovitých otáčkách správné hodnoty, u daných technických parametrů, ke kterým jsou charakteristiky vztaženy. Po kontrole a shodě těchto parametrů byla provedena zkouška inovačních úprav.

Vzhledem ke zjednodušenému modelu v projektu RMXprt Design nebylo možné provést některé úpravy zmíněné v kapitole možnosti inovací, které jak bylo popsáno výše, nebyly konkretizovány, ale myšlené obecně. Proto bylo provedeno rozhodnutí provést úpravy na výměně a úpravě permanentních magnetů feritových, za permanentní magnety ze vzácných zemin. Dále použití jiné oceli na plechy kotvy s menšími měrnými ztrátami, tedy s větším obsahem křemíku (jedná se o tvrdší ocel), a také užšího rozměru a to místo původních 0,5 mm na 0,35 mm.

Všechny navržené inovace byly vztahovány opět ke jmenovitým otáčkám a to  $2000 \text{ min}^{-1}$ .

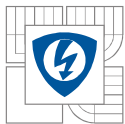
### 8.1 Výměna PM feritových za PM ze vzácných zemin NdFeB

Permanentní magnety ze vzácných zemin jsou mnohem silnější než feritové permanentní magnety. Tedy při této změně není možné zachovat původní výšku permanentních magnetů. U feritových permanentních magnetů byla jejich výška 7 mm. Kromě výšky permanentních magnetů je třeba uvažovat pólové krytí.

$B_\delta$ [T]	$B_{\max}$ [T]	$M_n$ [Nm]	$h_{PM}$ [mm]	$d_r$ [mm]	$P_h$ [W/kg]	$P_v$ [W/kg]	$P_{Fe}$ [W]
0,314786	1,51936	0,382	7	60	6,7715	1,4364	10,2074

Tabulka 9 Původní parametry ke srovnání





Po změně na magnety ze vzácných zemin NdFeB35 byla upravena tloušťka magnetů na 1 mm. Na základě této změny bylo třeba zmenšit i rozměry motorku o rozdíl výšek magnetů, která činila 5 mm na každém, tedy výsledný vnější rozměr byl 71 mm při zachování původní vzduchové mezery 1,5 mm.

$B_\delta$ [T]	$B_{\max}$ [T]	$M_n$ [Nm]	$h_{PM}$ [mm]	$d_r$ [mm]	$P_h$ [W/kg]	$P_v$ [W/kg]	$P_{Fe}$ [W]
0,442968	2,13805	0,39	1	60	13,4090	2,8443	20,2129

Tabulka 10 Parametry po výměně za PM NdFeB35

Jak je vidět ze zaznamenaných hodnot z programu Ansoft Maxwell. Velikost magnetické indukce ve vzduchové mezeře nám stoupla, a tedy se zvedla i amplitudová hodnota magnetické indukce v kotvě. Z čehož plyne, že i magnetické ztráty vzrostly dle výše uvedených vzorců, které byly zpracovány do programu Microsoft Excel, aby mohly být efektivněji dopočítávány provedené změny v projektu RMxprt. Jako kladnou část bych vyhodnotil, že se zvedl moment stejnosměrného motorku, zmenšily se rozměry tohoto motorku a lehce se zvedla i účinnost, protože se mechanický výkon zvednul přibližně o 2W.

Velkou nevýhodou tohoto řešení byly obrovské magnetizační ztráty oproti původnímu řešení stejnosměrného motorku. Další nevýhodou by byla náročná výroba tohoto motorku kvůli rozměrům.

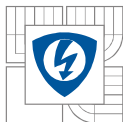
## 8.2 Plechy kotvy z oceli M270 – 35A

V této inovaci nebo také úpravě motorku byly uvažovány původní feritové magnety a tedy i rozměry motorku. Ostatní nastavené parametry byly nechány jako u původního motorku. Změna byla provedena pouze na kotvě, u které byly zaměněny plechy za ocel M270-35A. Plechy se vyznačují nižším ztrátovým číslem než předchozí plechy. Také tyto plechy by se razily v tloušťce 0,35 mm. Tato změna by vedla ke snížení ztrát vířivými proudy. U těchto plechů je tedy koeficient pro hysterezní ztráty  $K_h = 2,2$  a koeficient pro ztráty vířivými proudy  $K_v = 1,2$ .

Výpočty jsou tedy následující

$$p_h = K_h \cdot \frac{f}{50} \cdot B^2 = 2,2 \cdot \frac{33,3333}{50} \cdot 1,51398^2 = \underline{3,3618 \text{ W/kg}}$$

$$p_v = K_v \cdot \left(\frac{f}{50}\right)^2 \cdot B^2 = 1,2 \cdot \left(\frac{33,3333}{50}\right)^2 \cdot 1,51398^2 = \underline{1,2225 \text{ W/kg}}$$



$$P_{Fe} = 2 \cdot G \cdot \left[ K_h \cdot \frac{f}{50} + K_v \cdot \left( \frac{f}{50} \right)^2 \right] \cdot B^2 =$$
$$= 2 \cdot 0,62181 \cdot \left[ 2,2 \cdot \frac{33,3333}{50} + 1,2 \cdot \left( \frac{33,3333}{50} \right)^2 \right] \cdot 1,51398^2 = \underline{5,7011 \text{ W}}$$

$B_\delta$ [T]	$B_{max}$ [T]	$M_n$ [Nm]	$h_{PM}$ [mm]	$d_r$ [mm]	$P_h$ [W/kg]	$P_v$ [W/kg]	$P_{Fe}$ [W]
0,313672	1,51398	0,3911	7	60	3,3618	1,2225	5,7011

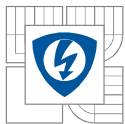
Tabulka 11 parametry motorku při záměně za plechy z M270-35A

Jak je vidět z nově dopočtených magnetických ztrát klesnou ztráty hysterezní téměř na polovinu se ztrátami celkovými a ztráty vířivými proudy klesnou 0,21 W/kg. Výsledky byly vztahovány porovnáním k původním parametrům.

Vzhledem ke změně materiálu na kotvě se mění i celkový odpor kotvy. Změna nastane, protože ocel M270 – 35 A je tvrdší než původně použitá M700 – 50 A. Tedy se změní měrná hmotnost  $\rho$ . Díky změně odporu se změní i ztráty ve vinutí kotvy. Kvůli lehčímu vzrůstu proudu přibližně o 0,06 A se lehce změní i ztráty na kartáčích a komutátoru a to zvýšením o 0,6 W.

Změnou na ocel M270 – 35 A se také změnil moment a účinnost moment narostl o 0,01 Nm a účinnost přibližně 1 %. Zvýšení účinnosti vyústilo z jemného nárůstu mechanického výkonu a snížením ztrát.

[15]



## 9 ZÁVĚR

V úvodu práce byl zpracován přehled stejnosměrných motorků. Motorky byly vybírány dle podobných parametrů na srovnání a typů provozu. Takto vypracovaný přehled stejnosměrných motorků byl z vytvořených tabulek pro jednotlivé parametry stejnosměrných motorků použit pro grafické srovnání.

Srovnávacími parametry u všech vybíraných stejnosměrných motorků bylo jmenovité napětí 24 V, jmenovitý proud, jmenovitý výkon, u kterého byla hranice 200 W, do které byly stejnosměrné motorky vybírány tak, aby ji nepřekročily. Posledním parametrem byly jmenovité otáčky. Dalším nepřímo srovnávaným údajem bylo, v jakém provozu stejnosměrný motorek pracuje, všechny vybrané motorky pracují v provozu S1. Provoz S1 označuje kontinuální provoz. Také typ krytí byl údaj, dle kterého bylo řízeno vybírání stejnosměrných motorků. Vybrané stejnosměrné motorky měly uzavřené krytí.

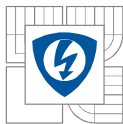
Z takto vypracovaného přehledu stejnosměrných motorků bylo za úkol vybrat jeden stejnosměrný motorek k podrobnému rozboru a popisu. Jako zvolený stejnosměrný motorek z přehledu byl P2TV od výrobce ATAS elektromotory, Náchod s.r.o. Ke zvolenému stejnosměrnému motorku byla za pomoci vedoucího p. prof. Hájka vyžádána podrobná výkresová dokumentace.

Všechny získané výkresové dokumentace a technické protokoly byly použity k vytvoření modelu stejnosměrného motorku P2TV v programu Ansoft Maxwell. V programu Ansoft Maxwell byl vybrán na zpracování projekt v RMxprt Design (Permanent Magnet DC Motor). Pro potřebu vytváření dalších úprav bylo nejdůležitější, aby motorek po vytvoření jako modelu dosahoval stejných jmenovitých hodnot a parametrů jako reálný stejnosměrný motorek P2TV. Po vytvoření modelu byla práce zaměřena na testování chování modelu na uvedené možnosti inovací.

Stejnoseměrný motorek P2TV byl již vyráběn s kostrou motorku z bezešvé trubky, činitel plnění zde byl 1, protože má ideální kruhový tvar, stejně jako lepené permanentní magnety, které mají tak ideální kruhový tvar. Nevzniká tedy parazitní vzduchová mezera.

Jako první úprava stejnosměrného motorku byla zvolena záměna permanentních magnetů feritových za permanentní magnety ze vzácných zemin konkrétně NdFeB35. Při této změně bylo třeba upravit rozměry stejnosměrného motorku díky mnohem větší magnetické koercitivitě permanentních magnetů NdFeB oproti permanentním magnetům feritovým. Úprava rozměrů plynula ze snížení výšky permanentních magnetů ze 7 mm na 1 mm. U této úpravy došlo ke zlepšení účinnosti a jmenovitého momentu. Jako kladné můžeme brát i fakt že takový stejnosměrný motorek by byl menšího rozměru. Ovšem značnou nevýhodou této úpravy by byla náročnost výroby a cena, ale i mnohem vyšší magnetické ztráty. Zvýšení magnetických ztrát plynulo ze zvýšení magnetické indukce v zubu kotvy a tedy i ve vzduchové mezeře stejnosměrného motorku.

Druhou úpravou byla záměna oceli, ze které byly vyrobeny plechy kotvy. Původní ocel M700-50A byla zaměněna za M270-35A. Tato ocel měla nižší ztrátové číslo než původní ocel M700-50A. Tato úprava byla s původními feritovými permanentními magnety, abychom se vyvarovali vyšších magnetických ztrát, ale naopak je snížili. Záměna oceli byla poměrně efektivní, zvýšila původní jmenovitý moment o přibližně 10 mNm. Také účinnost byla o 1 % lepší



než u původního stejnosměrného motorku. Zmíněné magnetické ztráty byly v případě hysterezních ztrát sníženy na polovinu stejně tak celkové ztráty. Ztráty vířivými proudy klesly o 0,21 W/kg. Jedinou nevýhodou při výrobě plechů by bylo větší opotřebovávání razicího stroje. To by se mohlo promítnout v ceně motorku.

Poslední provedená inovace na stejnosměrném motorku P2TV se mi zdá nejschůdnější v poměru kladů a záporů.

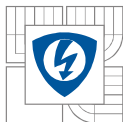
Prováděné změny se na motorku dělaly s obtížemi ve smyslu malé velikosti motorku a nízkých parametrů. Některé prováděné změny motorek o dost zhoršily, a nebo vylepšily poměrně nepatrně.

Uváděné měření motorku dle možnosti nemohlo být provedeno z důvodu, že výrobce ATAS elektromotory, Náchod má velice přetíženou výrobu a tedy by nebylo možné domluvit kusovou výrobu na úpravu stejnosměrného motorku P2TV pro bakalářskou práci.

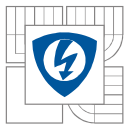


## LITERATURA

- [1] ATAS elektromotory Náchod a.s. *Komutátorové motory: S permanentními magnety* [online]. 2009 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://www.atas.cz/>
- [2] Bühler elektromotoren Německo GmbH. *Product Overview* [online]. 2012 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: [http://www.buehlermotor.com/EN/Products?open&at\\_query=\\*&at\\_par=sf=3;ccat=1](http://www.buehlermotor.com/EN/Products?open&at_query=*&at_par=sf=3;ccat=1)
- [3] Engel elektromotoren Německo GmbH. *Products: GNM series 4175A* [online]. 2011 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://www.engel-elektromotoren.de/us/produkte/gnm/gnm-4175a/>
- [4] Dunker elektromotoren Německo GmbH. *Ametek: precision motion control* [online]. 2015 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://www.dunkermotoren.com/default.asp?id=9&mid=15&lang=8>
- [5] BOSCH elektromotoren Německo GmbH. *Products: DC motors without transmission* [online]. [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://www.bosch-ibusiness.com/boaaelmoocs/category/CPB/151>
- [6] Nm: Nerezové materiály. *Bezešvé trubky* [online]. [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://www.nerezove-materialy.cz/produkty/trubky/bezesve-trubky?gclid=CM6CmemWhMoCFaofwwodYAAB0g>
- [7] MAGNET-PRO. *Magnety NdFeB* [online]. 2014 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://www.magnet-pro.cz/magnety-neodmytove-ndfbe.html>
- [8] ATAS elektromotory Náchod a.s.: *dokumentace od výrobce*.
- [9] PZK: International cooperations. *Samáriové magnety* [online]. 2008, 2016 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://www.pzk.cz/cz/samariove-magnety>
- [10] *Elektrické stroje: Stejnoseměrné stroje* [online]. FEKT VUT v Brně, s. 111 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: [https://www.feec.vutbr.cz/et/skripta/uvee/Elektricke\\_stroje\\_L.pdf](https://www.feec.vutbr.cz/et/skripta/uvee/Elektricke_stroje_L.pdf)
- [11] Pohonnatechnika.cz. *Pohonnatechnika.cz: Druhy provozu* [online]. 2007, 2016 [cit. 2016-01-04]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/frekvencni-menice/druhy-provozu>
- [12] VRÁNA, Václav. *Elektrické stroje*. VŠB-TU Ostrava, 2004, s. 11.
- [13] Cebes a.s. [online]. [cit. 2016-01-04]. Dostupné z: <http://www.cebes.cz/lisovane-komutatory/>
- [14] HÁJEK, Vítězslav a Čestmír ONDRŮŠEK. *Metody zvýšení účinností a optimalizace automobilových elektrických strolů*. Brno, 2000.



- [15] *Cogent: A Tata Steel Enterprise* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://cogent-power.com/downloads>
- [16] GOTTWALD, M. *Dynamický model stejnosměrného motoru s využitím metody konečných prvků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 69 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ondřej Vítek, Ph.D..



## **PŘÍLOHY**